

材料科学丛书

材料科学导论

上海科学技术出版社

徐祖耀 李鹏兴 主编

内 容 提 要

本书是主要作者在上海交通大学执教材料科学与工程专业的“材料科学基础”课程数轮的基础上,会同有关教师合力编写而成。全书共十五章,第一章简介材料科学,第二至第十章讲述各类晶体材料的共同原理,第十一、十二两章分别阐述金属材料的力学性能和化学性能,第十三至第十五章分别介绍陶瓷材料、高分子材料和功能材料的结构与性能之间的关系。本书内容起点较高,且突出阐述材料成分、组织结构与性能之间的物理化学或化学物理规律,引导融会贯通地运用这些规律。

本书适合有关专业大学高年级学生、研究生用作教材或教学参考书,也可供材料科学及有关专业的工作者参考。

材料科学丛书

材料科学导论

徐祖耀 李鹏兴 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 31.5 字数 832,000

1986年9月第1版 1986年9月第1次印刷

印数: 1—3,800

统一书号: 15119·2444 定价: 7.65 元

《材料科学丛书》序

无论在发展农业、工业、国防和科学技术方面，还是在人民生活方面，材料都是不可缺少的物质基础。材料的品种、数量和质量无疑是国家现代化程度的标志之一。随着材料的广泛生产和研究工作的不断深入，以及与材料有关的基础学科的日益发展，对材料的内在规律有了进一步了解，对各类材料的共性初步得到了科学的抽象，从而诞生了“材料科学”这个新的学科领域。

材料科学主要研究材料的组分、结构与性能之间的相互关系和变化规律，它是介于基础科学与应用科学之间的一门应用基础科学，与物理、化学、化工、电子、冶金、陶瓷等学科相互交叉、彼此渗透。热力学、动力学、固体物理、固体化学、化学物理等基础学科为材料科学提供理论基础，而材料科学又为应用科学提供发展新材料、新工艺和新技术的途径。

从当前来看，材料科学的发展大致有下列几方面的趋势：

(1) 高分子材料原料丰富、性能优良，在结构材料中所占的位置日益重要。塑料、合成橡胶和合成纤维比其他传统材料将有更大的发展。

(2) 功能材料显示广阔的发展前景。半导体的广泛应用，集成电路的发展，红外、激光和超导材料的发现和应用，使功能材料犹如异军突起，建立奇功。

(3) 在新能源材料方面，随着太阳能的利用，磁流体发电等的进展，出现了各种换能和储能材料，并已普遍受到重视。

(4) 对结构材料和耐磨、耐蚀等材料提出更高的要求，包括严酷的使用条件、更长的使用寿命等。

(5) 复合材料、定向结晶材料、韧化陶瓷、定向石墨以及各种

类型的表面处理与涂层的利用，使材料的效能进一步得到发挥。

(6) 探索材料在极端条件下的性能，例如玻璃态金属、超低温下的金属及金属氢都具有优越的性能。

(7) 改进制备工艺，提高质量，改进设计，更有效地使用材料。

(8) 对材料科学的基础研究趋向于更加深入和细致。尤其在表面，非晶态，原子象，固态中的杂质与缺陷，一维与二维结构，非平衡态，相变的微观机制，变形、断裂和磨损等的宏观规律和微观过程以及点阵结构的稳定性等领域，探索性研究正日益活跃。

人们期望，对材料基本规律的掌握将有助于按预定性能设计材料的原子或分子组成以及结构形态等。

我国在1978~1985年科学技术发展规划中把材料科学列为重点之一。我们必须十分重视和大力发展材料科学。

为了及时传播材料科学的基础理论，总结研究成果并扩大其工程应用，以有助于更快、更广泛地提高我国材料科学技术的水平，我们成立了《材料科学丛书》编辑委员会，由上海科学技术出版社出版这套丛书。

本丛书分为金属材料、无机非金属材料和高分子材料三个方面，选题包括材料科学的基础理论，研究方法和测试技术，研究成果，以及实际应用等方面。热忱地期望我国广大科学工作者，共同策进本丛书的编辑、出版工作，努力为我国早日实现四个现代化贡献力量。

《材料科学丛书》编辑委员会

一九七九年十二月

《材料科学丛书》编辑委员会

金属材料方面

主任委员 周志宏

委员 (以姓氏笔画为序)

马龙翔 王之玺
王启东 田庚锡
师昌绪 孙珍宝
许顺生 李恒德
汪 显 沈华生
吴自良 陈新民
杜鹤桂 张文奇
张沛霖 邹元炳
邵象华 周行健
周宗祥 周惠久
郁国城 林栋梁
柯 俊 胡为柏
钱临照 徐采栋
徐祖耀 郭可信
顾翼东 黄培云
傅元庆 童光照
葛庭燧 谭庆麟
魏寿昆

无机非金属材料方面

主任委员 严东生

委员 (以姓氏笔画为序)

丁子上
干福熹
江作昭
苏 锵
吴中伟
袁润章
盛绪敏
黄蕴元
程继健

高分子材料方面

主任委员 钱宝钧

委员 (以姓氏笔画为序)

于 翹
王孟钟
方柏容
孙书棋
吴人洁
吴祥龙
李世璠
范 棠
张承琦
姚锡福
徐 僖
钱人元
郭钟福

前 言

正当举国上下关注着新的技术革命，并不断对此拟定对策迈出新步之际，理所当然地更加注意到新技术革命所赖以发展的学科之一——材料科学。也渴望一本有关介绍金属材料、非金属无机材料、高分子材料科学的入门基础书。同时我国教育部决定在工科高等院校中试办材料科学专业，这也就需要有关材料科学基础课的教学用书。国外虽有材料科学概论之类的书籍，但内容嫌浅，难以适用于专业教学。这本新编的《材料科学导论》的问世也许正适逢其时。本书是主要作者在上海交通大学执教材料科学与工程专业“材料科学基础”课程数轮的基础上，会同有关教师合力编写而成。全书分十五章，除第一章简介材料科学外，第二至第十章为各类晶体材料的共同原理；第十一、十二两章分别阐述金属材料的力学性能(强韧性)和化学性能(腐蚀)；第十三至第十五章分别介绍陶瓷材料、高分子材料和功能(特殊物理性质)材料结构与性能之间的关系。

本书内容上有两个特点：第一，起点较高，按材料科学专业要求，在学习本课程前应修过物理化学(热力学)、量子力学导论和统计物理导论，本书就在这些基础上进行编写；其二，本书突出成分、组织结构对性能之间的物理化学或化学物理规律，不涉及具体材料，其目的是为了提供基础，使在接触各种专门材料知识时易于运用规律，融会贯通。由于第二至第十章的作者以执教金属学为其背景，在写作这些章节有关材料的一般原理时难免遗有金属学的印痕。其他各章由诸家分别执笔，也可能存在缺少彼此呼应、互为补充之弊，这些都有待作者逐步扩大学术领域，把各类材料的原理提高整理，最后形成浑然一体。本书初版仅作为尝试，以讨论稿形式求教于专家和读者，还望读者惠予帮助。

本书第一、三、四、五、六、十章由徐祖耀所写；第二、七、八、九、十一章由李鹏兴所写，其中第七章部分由江伯鸿撰写；第十二章由黄永昌所写，经章燕豪审阅；第十三章由上海科技大学沈嘉祺所写；第十四章由朱纯熙执笔，经张和康审阅，最后由顾正均作部分订正并定稿；第十五章由张耀贵、刘公强提出初稿，部分经上海科技大学张有霆审阅，最后由林行方定稿，又由陈树川、陈凌冰提出意见经林行方修改脱稿。陈秀琴及刘和两同志为此书付印作出了大量劳动。谨在此对审校同志和陈、刘诸位深志谢忱。

徐祖耀 执笔

1984年5月1日

目 录

第1章 材料科学及其进展	1
1-1 材料科学的建立和内容	1
1-2 材料应用和研究的新趋势	5
1-2-1 材料应用的总倾向	5
1-2-2 材料的使用效率不断提高	6
1-2-3 不断提高结构材料的强度和韧性	6
1-2-4 复合材料的应用	8
1-2-5 电子材料正引人瞩目	11
1-2-6 超导材料大步发展	12
1-2-7 微晶、非晶态合金(金属玻璃)材料前景广阔	14
1-2-8 超纯材料、能源材料的开发研究正在开拓	16
1-2-9 研究特殊条件下应用的材料	16
1-2-10 合成聚合物进一步发展	17
1-3 材料科学发展的瞻望	19
参考文献	20
第2章 晶体结构	21
2-1 晶体学基础	21
2-1-1 晶体的对称性	21
2-1-2 晶面指数和晶向指数	36
2-1-3 极射赤平投影	45
2-2 倒易点阵	54
2-2-1 倒易点阵定义及性质	54
2-2-2 倒易点阵中的衍射条件	57
2-3 元素的晶体结构——金属晶体与共价晶体	59
2-3-1 金属晶体结构	61
2-3-2 共价晶体结构	64

2-3-3	原子直径	65
2-3-4	同素异构性	67
2-4	合金相结构	68
2-4-1	固溶体	69
2-4-2	中间相	81
	主要参考书	95
第3章	纯晶体材料的凝固	96
3-1	相变概述	96
3-1-1	相变的热力学分类	96
3-1-2	相变驱动力和热滞	99
3-1-3	形核和长大	102
3-1-4	相变动力学	108
3-2	均匀形核和非均匀形核	111
3-3	凝固时的晶体长大	116
3-4	凝固后的晶粒大小	127
	主要参考书	131
	参考文献	131
第4章	二元系的相图及凝固	132
4-1	相图热力学	132
4-1-1	二元系的自由能曲线	132
4-1-2	二元系中的相平衡	135
4-1-3	相图的计算	137
4-2	固溶体合金的凝固	142
4-2-1	凝固过程及组织	142
4-2-2	正常凝固及区域提纯	148
4-2-3	成分过冷	155
4-2-4	晶体形状	158
4-2-5	铸件组织	161
4-3	共晶系合金的凝固	167
4-3-1	概述	167

4-3-2	共晶组织的形态	169
4-3-3	共晶组织的形成及其性质	174
4-3-4	离异共晶、不正常共晶和伪共晶	177
4-4	其他二元系的相图及凝固	181
4-4-1	包晶合金的凝固	181
4-4-2	形成化合物的二元系	185
4-4-3	两组元在液态和固态都呈有限溶解的二元系	187
4-5	合金铸件的缺陷	190
4-5-1	缩孔	190
4-5-2	偏析	192
4-6	具有固态转变的二元相图	202
4-6-1	具有固溶体多形性转变的相图	202
4-6-2	具有共析转变的相图	203
4-6-3	具有包析转变的相图	204
4-6-4	具有脱溶过程的相图	204
4-6-5	具有 spinodal 分解的相图	205
4-6-6	具有固溶体-中间相转变的相图	205
4-6-7	具有有序-无序相变的相图	206
4-6-8	具有磁性转变的二元系	206
4-7	二元相图实例	207
4-7-1	SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 系相图	207
4-7-2	碳钢的凝固	209
	主要参考书	226
	参考文献	226

第5章 三元相图

5-1	三元相图基础	227
5-1-1	三元相图中浓度表示法	227
5-1-2	杠杆定理和重心规则	228
5-1-3	三元固溶体的凝固	232
5-1-4	简单共晶三元系	235
5-1-5	三元系冷凝过程中的相平衡	239

5-2	具有三相平衡的三元系	241
5-3	具有四相平衡的三元系	250
5-3-1	三元系中的四相平衡	250
5-3-2	具有三元共晶转变的三元系	251
5-3-3	具有共晶-包晶四相平衡的三元系	258
5-3-4	具有三元包晶四相平衡的三元系	259
5-4	具有化合物的三元系	262
5-4-1	一个二元系形成化合物的三元系	262
5-4-2	三个二元系都形成化合物的三元系	264
5-4-3	形成三元化合物的三元系	264
5-5	实际三元相图示例	266
5-5-1	Al-Mg-Si 系	266
5-5-2	As-Ga-Zn 系	267
5-5-3	Al-Cu-Mg 系(富 Al 部分)	268
5-5-4	Sn-Ti-V 系	268
5-5-5	Bi-Cu-Mg 系	270
5-5-6	MgO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 系	272
	主要参考书	273
	参考文献	273

第 6 章 固体中的扩散274

6-1	反应途径和激活能	274
6-2	玻尔兹曼分布律	275
6-3	Arrhenius 方程和绝对反应速率	279
6-4	Fick 定律及其解	282
6-5	Kirkendall 效应和互扩散系数	286
6-6	晶体中的空位	288
6-6-1	热平衡态的空位浓度	289
6-6-2	空位的迁移和结合	291
6-7	扩散热力学	293
6-8	扩散的原子理论	296

6-9 扩散的机制	298
6-9-1 直接交换	298
6-9-2 间隙机制	299
6-9-3 空位机制	300
6-10 影响扩散的因素	300
6-10-1 温度	300
6-10-2 键能	301
6-10-3 晶体结构及位向	302
6-11 晶界扩散	303
6-12 离子晶体中的扩散	307
主要参考书	311
参考文献	312

第7章 位错313

7-1 位错的概念	313
7-1-1 位错概念的引入	313
7-1-2 位错的基本类型和特征	316
7-1-3 位错的基本性质	319
7-2 位错的应力场和应变能	324
7-2-1 位错的应力场	324
7-2-2 位错的应变能	328
7-3 位错的受力	331
7-3-1 位错的线张力	331
7-3-2 外力场中位错所受的力	331
7-3-3 位错间的相互作用力	335
7-3-4 镜象力	338
7-4 位错和点缺陷的相互作用	339
7-4-1 刃位错与球形对称畸变溶质原子的弹性交互作用	339
7-4-2 Cottrell气团	341
7-4-3 非球形对称畸变溶质原子与位错的交互作用	342
7-5 位错的运动	342
7-5-1 位错的滑移	343

7-5-2 位错的攀移	350
7-6 位错的萌生、增殖和塞积	352
7-6-1 位错的萌生	352
7-6-2 位错的增殖	353
7-6-3 位错的塞积	357
7-7 位错的交割和带割阶位错的运动	359
7-7-1 位错的几种交割类型	359
7-7-2 带割阶位错的运动	361
7-8 实际晶体中的位错	363
7-8-1 位错反应	364
7-8-2 面心立方晶体中的位错	365
7-8-3 其他晶体中的位错	377
7-9 位错的观测	382
7-9-1 浸蚀坑法	382
7-9-2 薄膜透射电镜法	383
主要参考书	384
第8章 界面	385
8-1 晶体表面	385
8-1-1 表面能	385
8-1-2 表面吸附	389
8-2 晶界和亚晶界	390
8-2-1 小角度晶界	391
8-2-2 大角度晶界	396
8-3 界面的偏聚	404
8-3-1 平衡偏聚	405
8-3-2 非平衡偏聚	406
8-4 界面能与平衡组织形貌的关系	407
8-4-1 单相组织的平衡形貌	407
8-4-2 复相组织的平衡形貌	411
8-5 晶界的迁动	415
8-5-1 驱动力	417

8-5-2 迁移率	419
主要参考书	423
第 9 章 固体材料的变形和再结晶	425
9-1 弹性变形	426
9-1-1 广义虎克定律	426
9-1-2 滞弹性和内耗	431
9-2 晶体塑性变形概述	433
9-3 晶体的低温变形	435
9-3-1 滑移	435
9-3-2 孪生	443
9-3-3 扭折带(形变带)	448
9-3-4 屈服现象	450
9-3-5 加工硬化(应变硬化)	451
9-3-6 纤维组织和织构	458
9-4 回复与再结晶	460
9-4-1 回复	462
9-4-2 再结晶	468
9-4-3 晶粒长大	479
9-4-4 再结晶织构与退火孪晶	484
9-5 晶体的高温形变	487
9-5-1 热加工	487
9-5-2 蠕变	497
9-5-3 超塑性	503
9-6 粘性和粘弹性变形	505
9-6-1 粘性变形	505
9-6-2 粘弹性变形	507
主要参考书	510
第 10 章 固态相变	512
10-1 固态相变的特点	512
10-1-1 固态相变时的相界面	512

10-1-2	位向关系和惯习(惯析)面	515
10-1-3	过渡相	517
10-1-4	应变能	518
10-1-5	新相的长大	521
10-1-6	晶体缺陷的作用	523
10-1-7	相变动力学	527
10-2	同素异构(晶)相变	528
10-3	脱溶分解	534
10-4	spinodal 分解	538
10-5	马氏体相变	544
10-6	有序-无序相变	554
10-7	玻璃态相变	562
10-8	液晶及其相变	568
10-9	郎道(Landau)理论及电磁性相变	571
10-9-1	郎道理论	571
10-9-2	铁电-顺电态相变	573
10-9-3	超导态转变和磁性转变	576
10-10	软模及相变	578
	主要参考书	581
	参考文献	581

第 11 章 金属材料的强韧性.....583

11-1	金属的强化	583
11-1-1	细晶强化	584
11-1-2	加工硬化(位错强化)	588
11-1-3	固溶强化	591
11-1-4	弥散强化(沉淀强化)	598
11-1-5	强化因素的综合考虑	608
11-2	金属材料的断裂	609
11-2-1	断裂韧性	610
11-2-2	断裂机制	617

11-2-3 影响脆断的材质因素	626
11-3 蠕变强度与蠕变断裂	632
11-3-1 蠕变强度	632
11-3-2 蠕变断裂	634
11-4 金属的疲劳	636
11-4-1 $S-N$ 疲劳曲线及疲劳过程	637
11-4-2 循环塑性形变	638
11-4-3 疲劳裂纹的形核	643
11-4-4 疲劳裂纹的扩展	645
11-4-5 影响疲劳寿命的因素	650
主要参考书	651
参考文献	652

第12章 金属材料的耐蚀性 654

12-1 水溶液腐蚀	654
12-1-1 腐蚀的电化学本质	655
12-1-2 电位-pH图	665
12-1-3 腐蚀速度	668
12-2 局部腐蚀	677
12-2-1 点蚀	678
12-2-2 缝隙腐蚀	681
12-2-3 晶间腐蚀	683
12-2-4 应力腐蚀开裂	686
12-2-5 腐蚀疲劳	691
12-3 金属的氧化	695
12-3-1 氧化动力学	696
12-3-2 金属氧化物的结构	697
12-3-3 合金的氧化	699
12-3-4 高温腐蚀	700
12-4 腐蚀和氧化的控制	701
12-4-1 正确选用金属材料 and 合理设计金属构件	702
12-4-2 采用保护性覆盖层	703

12-4-3	环境控制	704
12-4-4	电化学保护	705
	主要参考书	708
第 13 章	陶瓷材料	709
13-1	概述	709
13-2	离子晶体的结构	712
13-2-1	离子晶体的晶格能	712
13-2-2	离子半径、配位数和离子的堆积	716
13-2-3	离子晶体的结构规则	725
13-2-4	几种典型的结构型	727
13-3	烧结	732
13-3-1	烧结的定义	732
13-3-2	烧结的动力	735
13-3-3	烧结过程中的物质传递	735
13-4	陶瓷的显微结构	741
13-4-1	晶粒	742
13-4-2	晶界	744
13-5	陶瓷材料的脆性及其改善	751
13-5-1	陶瓷的脆性	751
13-5-2	陶瓷的强度	754
13-5-3	改善陶瓷脆性的途径	757
13-6	工程(结构)陶瓷材料简介	759
	主要参考书	765
第 14 章	高分子材料	767
14-1	用作材料的有机高分子化合物	767
14-1-1	天然和合成高分子化合物	767
14-1-2	高分子材料的多层次结构	768
14-1-3	丰富多采的高分子材料	770
14-2	大分子链的构成和形态	771
14-2-1	大分子链的构成(一次结构)	771